



УДК 621.9.047

DOI: 10.30987/article_5bd8aa89895297.50864280

В.П. Смоленцев, д.т.н.

(Воронежский государственный технический университет, 394026, Воронеж, Московский пр., 14)

А.И. Портных, начальник отдела, **О.В. Скрыгин**, начальник отдела

(Воронежский механический завод, 394055, Воронеж, ул. Ворошилова, 22)

E-mail: vsmolen@inbox.ru

Отработка технологичности изделий под электрические методы обработки

Рассмотрены особенности отработки технологической рациональности конструкции и производственной технологичности изделий, обработка которых выполняется с использованием электрофизических и электрохимических методов, в том числе при комбинации в едином процессе различных физических воздействий.

Ключевые слова: отработка на технологичность; электрические методы обработки; основные требования; способы отработок.

V.P. Smolentsev, Dr. Sc. Tech.,

(Voronezh State Technical University, 14, Moskovsky Avenue, Voronezh, 394026)

A.P. Portnykh, Head of the Dep., **O.V. Skrygin**, Head of the Dep.

(Voronezh Mechanical Works, 22, Voroshilov Str., Voronezh, 394055)

Optimization of product manufacturability for methods of electrical treatment

The peculiarities of manufacturability optimization of designs and produce the machining of which is performed with the use of electro-physical and electro-chemical methods including the combination of different physical effects in a single process are considered.

Keywords: updating for manufacturability; methods of electrical treatment; basic requirements; machining methods.

В работе [1] показано, что отработка технологической рациональности конструкции изделий в период их запуска в серийное производство позволяет ускорить период технологической подготовки, что обеспечивает успех в конкурентной борьбе за рынки сбыта продукции.

Развитие электрических методов обработки потребовало создания методических основ проведения процедуры отработки производственной технологичности [2], учитывающей особенности формирования геометрии и микрогеометрии обрабатываемых деталей.

В ряде случаев удаление припуска происходит без контакта электрода с заготовкой, а роль инструмента выполняет электрическое поле, которое в сочетании с тепловым, хими-

ческим, магнитным воздействием обеспечивает размерный съём токопроводящих материалов с заготовки. При этом утрачивается необходимость в таких показателях производственной технологичности как совместимость твердости материалов заготовки и электрода инструмента.

Так, закаленные стали и металлокерамические твердые сплавы могут обрабатываться инструментом из меди и латуни, имеющих пониженную твердость относительно материала детали. Это вызывает необходимость при отработке производственной технологичности вводить новые критерии его оценки с учетом специфики процесса, обеспечивающих технологическую рациональность на всех ста-

дних производства и далее при эксплуатации (сложность и затраты при обслуживании, ремонте, диагностике объекта).

В табл. 1 приведены типовые параметры, определяющие уровень отработки технологичности под последующую обработку электрическими методами с рекомендациями по выбору технологических процессов и контролю полученных результатов. Полученные данные, приведенные в табл. 1, позволяют спроектировать технологию изготовления деталей с наибольшим использованием потенциала электрофизической и электрохимической обработки [3].

Анализ табл. 1 показывает, что при отработке технологичности необходимо вносить изменения в технологические процессы обработки, корректировать требования к заготовкам, деталям и инструменту. Так, при плазменном многослойном нанесении минералокерамических покрытий необходимо создать искусственную шероховатость с высотой неровностей не менее 70 мкм, что достигается дробеструйной обдувкой поверхности. Однако в хрупких материалах после такой операции возникают микротрещины, снижающие предел сопротивления усталости, что ограничивает возможности рассматриваемого метода подготовки поверхностного слоя под покрытие. Предложенный новый метод [4] дает возможность формировать лунки с глубиной до 300 мкм без силового воздействия на деталь, что исключает появление наклепа и создание внутренних напряжений.

Процессы электрохимической и комбинированной обработки выполняются при низком напряжении тока, поэтому не допускается наличие на поверхности заготовки нетокопроводящих участков (участков с окалиной и др.), вызывающих появление местных выступов. В приведенной табл. 1 рекомендованы методы подготовки и контроля поверхности под обработку, отвечающие требованиям производственной технологичности.

При ударном клеймении деталей образуются углубления и валики на границах знаков, которые при малых припусках частично переносятся на деталь и нарушают точность обработки сопрягаемых участков. Рекомендуется выносить место маркирования из зоны обработки, вводить дополнительную операцию местной зачистки или изменять метод маркирования.

В отличие от применения традиционных видов обработки технологические показатели электрических методов улучшаются, если

структура материала заготовки прошла предварительную термическую обработку для получения однородной (желательно мелкозернистой) структуры и выполнена закалка, существенно повышающая производительность процесса, что также входит в мероприятия по отработке производственной технологичности на стадии проектирования технологического процесса.

При бесконтактной обработке электрохимическим методом величина припуска назначается с учетом его выравнивания в конце процесса, что для большинства материалов соответствует соотношению максимальных и минимальных значений 2:1. Если это условие не выполняется, то необходимо снизить величину межэлектродного зазора в границах рекомендованных значений [5].

При проектировании технологического процесса требуется отработка производственной и конструкторской технологичности. К первой относится совмещение черновых и чистовых операций, исключение операций по удалению заусенцев и скруглению кромок, т.к. заусенцы в процессе выполнения операций не образуются, а скругление может происходить (например, в процессе электрохимической и комбинированной обработки) как сопутствующий процесс. Отработка конструкторской технологичности, требующая внесения изменений в чертежи и участия разработчиков изделия, включает устранение требований по скруглению кромок, замену фасок на скругления и др. Кроме того, после электрохимической размерной обработки в солевых растворах рабочих сред необходимо промыть детали и для некоторых материалов предусмотреть их консервацию, например, путем нанесения смазки.

При проектировании деталей под обработку электрическими методами следует внести изменения в их чертежи: если применяется электроэрозионная, электрохимическая или комбинированная прошивка, то под отверстиями или щелями для подвода рабочей среды образуются выступы, высота которых, как правило, не превышает 0,3 мм. Это не нарушает эксплуатационные характеристики изделия, но формально не соответствует техническим требованиям в чертеже при использовании традиционных методов обработки. Рекомендуется в техническую документацию внести указания о возможности появления таких выступов. В случае, когда их высота превышает допустимое значение потребуются зачистка поверхности. В случае использования

электрохимической размерной обработки для изготовления внутренней поверхности труб может наблюдаться повышенный съем материала на концевых участках, которые, как правило, подлежат последующей обработке.

Поэтому требуется внести в чертеж детали указание о возможности увеличения на торцах диаметра отверстий на 0,3...0,5 мм и при контроле выполнять измерения диаметра на удалении от концов не менее чем на 20...30 мм.

1. Типовые параметры, определяющие уровень отработки технологичности под последующую обработку

Анализируемые параметры	Технические требования	Способы выполнения требований	Способы контроля отработки технологичности
Качество подготовки обрабатываемой поверхности: -под комбинированное плазменное покрытие; -под электроэрозионную и электрохимическую размерную обработку	Наибольшая глубина лунок Плавное сопряжение лунок Отсутствие окалины, масел, загрязнений.	Дробеструйная обработка Электроэрозионная обработка Очистка, травление, промывка	Измерение высоты неровностей Выборочно 1-2 детали от партии Визуально по эталонам. Выборочно 1-2 детали от партии
	Отсутствие местных выступов (например, облоя) более высоты межэлектродного зазора. Отсутствие местных зачисток (например, для контроля твердости материала); шаржирования Равномерность структуры материала по зернистости Предварительная термическая обработка заготовки Окончательная термическая обработка заготовки	Удаление выступов Выполнение местной обработки вне зоны ЭХО Не допускать местных углублений Термообработка или стабилизация структуры При наличии термической операции в техпроцессе	Визуально, измерением выступов Выборочно: 1-2 детали от партии Визуально, контролем случайно выбранной из партии заготовки детали Металлографический анализ (1-2 образца от партии деталей) Измерение твердости 1-2 деталей от партии Анализ технологической документации
Припуск	Обеспечение гарантированного припуска Минимальная неравномерность припуска	Ограничения припуска в чертеже заготовки Ограничение неравномерности припуска	Выборочный контроль припуска на 3-10% деталей из партии Выборочный контроль припуска на 1-2 деталях из партии
	Совмещение черновых и чистовых операций. Выполнение операции после термообработки. Не предусматривать удаления заусенцев и скругления кромок Замена фасок на скругление кромок Удаление остатков агрессивных рабочих сред,	Корректировка техпроцесса Корректировка техпроцесса Корректировка техпроцесса Корректировка рабочих чертежей деталей Включение операции промывки деталей после обработки	Контроль техпроцесса Измерение твердости 1-2 деталей от партии Визуально по эталонам (1-2 детали от партии) Контроль технологической документации Визуальный выборочный контроль обработанных деталей

	вызывающих коррозию обработанных деталей		
Особенности проектирования деталей	<p>При прошивке глухих отверстий и применении электродов-инструментов с подачей через него рабочей среды возможность образования выступов на детали</p> <p>При схеме электрохимического протягивания предусматривать на концах детали повышенный съем металла</p>	<p>Предусмотреть в технической документации наличие на детали выступов с высотой до 0,3 мм или последующую зачистку</p> <p>Внесение изменений в чертеж детали</p>	<p>Анализ и корректировка чертежей деталей</p> <p>Анализ и корректировка чертежей деталей</p>
Особенности проектирования инструмента	<p>Низкое электрическое сопротивление материала</p> <p>Хорошая обрабатываемость материала инструмента методами пластического и механического формообразования</p> <p>Создание каналов для протекания технологических сред с минимальным гидравлическим сопротивлением</p>	<p>Выбор материалов по физическим характеристикам;</p> <p>Технико-экономический анализ;</p> <p>Выбор материалов по механическим характеристикам;</p> <p>Технико-экономический анализ;</p> <p>Применение типовых конструкций каналов</p>	<p>Стандартные способы изменения параметров</p> <p>Использование статистических данных об обрабатываемости материалов</p> <p>Экспериментальная проверка гидравлических сопротивлений при прокачке среды под рабочим давлением</p>

Отработка технологичности электродов-инструментов включает выбор материалов с низким электрическим сопротивлением, хорошей обрабатываемостью традиционными методами. Эта информация содержится в нормативной и справочной документации и применяется с учетом результатов технико-экономического анализа. Кроме того при многих способах обработки требуется обеспечить подвод жидкой рабочей среды в зону обработки. Для прокачки жидкости через межэлектродный промежуток может использоваться пространство между деталью и инструментом, впрыск рабочей среды через форсунки.

При избыточном давлении требуется создание каналов, обеспечивающих равномерное поступление жидкости на всю обрабатываемую поверхность. В большинстве случаев сечение и положение каналов назначается по опыту предшествующего периода проектирования электродов-инструментов. Если инструмент проектируется впервые, может потре-

боваться проведение расчетов гидравлических параметров и корректировка положения каналов в электроде-инструменте.

Приведенные материалы охватывают типовые случаи отработки изделий на технологичность с учетом применения в технологическом процессе электрических методов обработки. Они дополняют стандартные методики оценки конструкторско-технологических показателей и позволяют ускорить запуск в серийное производство новых наукоемких изделий машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Безъязычный, В.Ф.** Основы обеспечения качества металлических изделий с неорганическими покрытиями / В.Ф. Безъязычный, В.Ю. Замятин, А.Ю. Замятин, Ю.П. Замятин. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
2. **Сафонов, С.В.** Режимы электроискрового легирования и покрытия металлических изделий / С.В. Сафонов, В.П. Смоленцев, В.Г. Грицюк // Научно-технические технологии в

машиностроении. – 2014. – №5(35). – С. 27-31.

3. Смоленцев, В.П., Смоленцев, Е.В. Состояние и перспективы развития комбинированных методов обработки // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А.Соловьева. – 2017. – № 2. – С.5-9.

4. Пат. № 2464137 РФ. Способ получения локального участка охлаждения теплонагруженной детали / В.П.Смоленцев и др. // Заявка 2010144769 от 01.11.10. Оpub.20.10.12, Бюл. № 29.

5. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. – М.: Машиностроение, 2005. – 511 с.

REFERENCES

1. Beziyazychny, V.F. *Fundamentals to Ensure Quality of Metal Produce with Non-Organic Coating* / V.F. Beziyazychny, V.Yu. Zamyatin, A.Yu. Zamyatin, Yu.P. Zamyatin. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – pp. 608.

2. Safonov, S.V. Modes of electro-spark alloying and metal product coatings / S.V. Safonov, V.P. Smolentsev, V.G. Gritsyuk // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No. 5(35). – pp. 27-31.

3. Smolentsev, V.P., Smolentsev, E.V. State and outlooks in development of combined machining / *Bulletin of Soloviyov State Aircraft Technical University of Rybinsk*. – 2017. – No. 2. – pp. 5-9.

4. Pat. No. 2464137 the RF. *Method of Obtaining Local Area of Cooling in Heat-loaded Part* / V.P. Smolentsev et al. // Application 2010144769 of 01.11.10. published 20.10.12, Bull. No. 29.

5. Smolentsev, E.V. *Design of Electric and Combined Methods of Machining*. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – pp. 511.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарев

УДК 621.071

DOI: 10.30987/article_5bd8aa8a0c2539.01565105

О.И. Морозов, инженер,

В.Н. Кокорин, д.т.н.,

В.П. Табаков, д.т.н.

(ФБГУ ВО «Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32)

Д.И. Сагитов, к.т.н.

(ФБГУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», г. Ульяновск, ул. Можайского 8/8)

М.В. Илюшкин, к.т.н.

(АО «Ульяновский НИАТ», Ульяновск, ул. Врача Михайлова, 34)

Н.А. Ширманов, к.т.н.

(ФБГУ ВО «Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32)

E-mail: vnkokorin@mail.ru

Физическая модель структурирования системы «подложка – покрытие» в процессах комплексного модифицирования поверхностного слоя рабочих частей штампов и пресс-форм

Рассмотрены основные способы повышения стойкости рабочих частей штампового инструмента, в том числе процессы холодного пластического деформирования при нанесении износостойких покрытий методом ионно-плазменного напыления. Представлена физическая модель процесса холодного пластического деформирования образцов из теплостойкой стали X12M.

Ключевые слова: штамп; пресс-форма; механическая активация; деформация; износостойкость; покрытие; ионно-плазменное напыление; адгезия.